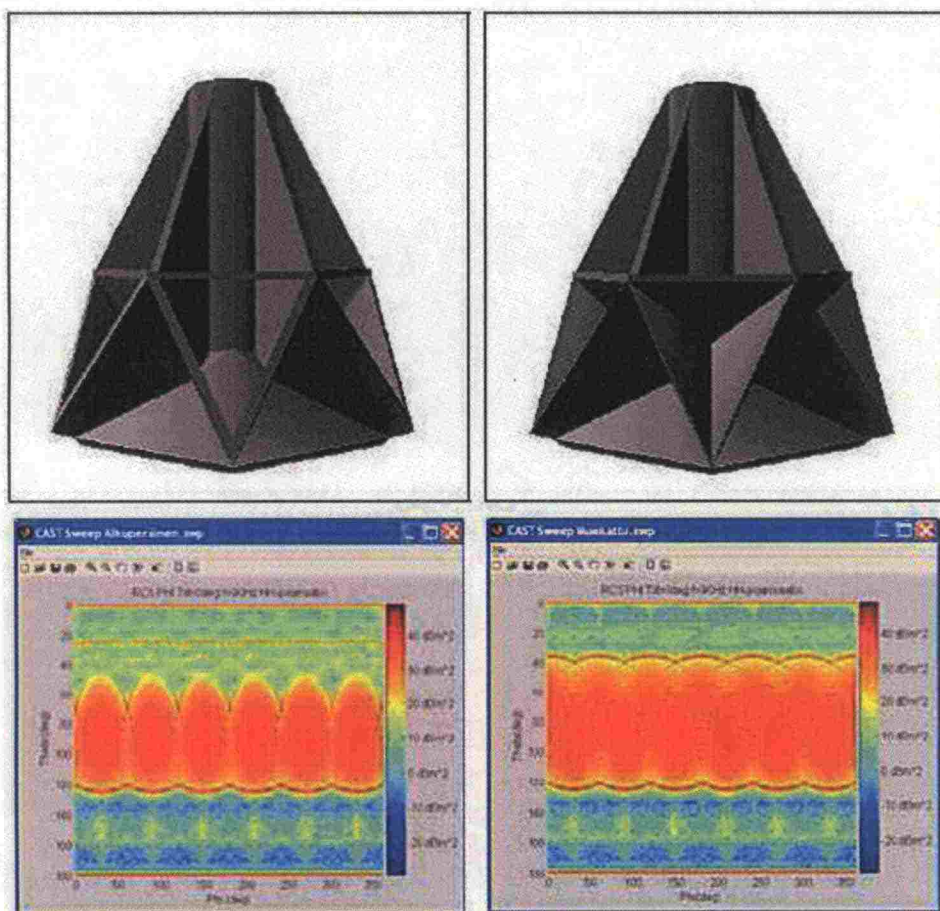


Reunamerkkien tutkanäkyvyyden mallintaminen sekä tutkapoikkipinta-alan kasvattaminen





Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja	
VTT Tietotekniikka Seppo Horsmanheimo, Wenche Backman, Lotta Tuomimäki, Arto Hujanen, Hans Toivanen, Jari Hautio		Toimeksiantaja MKL/Väylänpito/DI Risto Joro	
		Toimielimen asettamispäivämäärä 15.02.2007	
Julkaisun nimi Reunamerkkien tutkanäkyvyyden mallintaminen sekä tutkapoikkipinta-alan kasvattaminen			
Tiivistelmä Hankkeen tarkoituksena oli vertailla kahden reunamerkkeihin suunniteltujen tutkaheijastinmallien toimivuutta. Heijastinmallien toimivuutta mallinnettiin Pellingin 9m väylällä. Vertailtavina kohteina olivat oikeanpuoleisessa reunamerkissä käytetty heijastinmalli sekä muokattu versio mallista, johon oli lisätty kuusi, kärki alaspäin osoittavaa tutkasoppea. Vertailtavista tutkaheijastinmalleista toteutettiin 3D-mallit CAD-ohjelmistolla. Ympäristövaikutusten huomioimisessa hyödynnettiin aikaisemmassa T&K -hankkeessa "Väylän sähkömagneettisten sirontakenttien mallintaminen" luotua 3D-ympäristömallia, mikä kattaa osan Pellingin väylästä. Vertailtaville tutkaheijastinmalleille laskettiin tutkanäkyvyys 50 m resoluutiolla X-taajuusalueella (9 GHz) vaakapolarisaation (HH) tapauksessa pitkin Pellingin 9m väylän keskilinjaa ja alueelle, jonka säde oli 18 km. Laskennassa huomioitiin tutkaheijastimen sirontakuvio, tutka-aallon monitie-eteneminen suoraan ja vedenpinnan kautta, merenkäynnin tila, tutka-aallolle tapahtuva etenemisvaimennus sekä ympäristön ja maapallon kaareutumisen aiheuttama katvevaikutus. Laskentaan tehty tietokonemalli koostuu 240 000 tasokolmioista. Tulokset osoittavat, että muokatun tutkaheijastinmallin sirontakuvio on alkuperäistä mallia parempi etenkin pääkeilojen reuna-alueilla ja yläsuuntiin. Kiinteän turvalaitteen tapauksessa saatava hyöty on tarkasteltavilla yläkulmilla, mikä oli oletettavaa jo projektia käynnistettäessä. Alakulmille uusi malli ei tuonut parannusta. Hankkeessa tehty analyysi perustuu numeeriseen laskentaan ja on siten suuntaa-antava. Todellinen vertailu vaatisi mittauksia tai käytännön kokeita. Analyysi kuitenkin osoittaa tekijöitä, joiden takia saavutettava tutkapoikkipinta-alan lisä kannattaa hyödyntää väylillä, jossa liikkuu suuria rahti- ja matkustaja-aluksia.			
Avainsanat (asiasanat) Reunamerkin RCS, Tutkavaste, Tutkaheijastin, sirontakulma			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 7/2007		ISSN 1456-9442	ISBN 10484
Kokonaissivumäärä 20	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
Jakaja		Kustantaja	



Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tavoite	4
3	Kohteen kuvaus	4
3.1	Tutkaheijastinmallit	4
3.2	Vertailuympäristö	5
4	Rajaukset	7
5	Laskentaparametrit ja -menetelmät	8
5.1	Laskentamallit	10
5.2	Laskentaparametrit	11
5.3	Laskentamenetelmät	12
5.3.1	Maapallon ja radiohorisontin kaarevuus	12
5.3.2	Normalisoitu tehosuhte	12
5.3.3	Pistesirottajamalli	12
6	Tulokset	13
6.1	Tutkaheijastinmallit	13
6.2	Ympäristön vaikutus	16
7	Johtopäätökset	19
	Lähdeviitteet	20

Johdanto

Tämä tutkimus on jatkoa aikaisemmillem VTT:n Merenkulkulaitokselle tekemille tutkaheijastinten analysointihankkeille, joissa on selvitetty käytössä olevien tutkaheijastinmallien [1][2] ja uusien referenssimallien [3] sähkömagneettisia sirontaominaisuuksia S- (3 GHz) ja X-taajuusalueella (9 GHz) sekä suunniteltu ja arvioitu uuden tutkaheijastinmallin näkyvyyttä Vuosaaren väylällä [4]. Tutkaheijastinten ominaisuuksia on selvitetty VTT:llä kehitetyllä tutkapoikkipinta-alan laskentaohjelmistolla, CASTilla [5]. Tätä ohjelmistoa on kehitetty yhdessä Merivoimien Tutkimuslaitoksen kanssa erilaisten kohteiden häiveominaisuuksien analysointiin.

Tavoite

Projektin tehtävänä oli vertailla käytössä olevan ja muokatun tutkaheijastinmallin toimivuutta. Tutkaheijastinmalli on suunniteltu käytettäväksi oikeanpuoleisessa reunamerkissä.

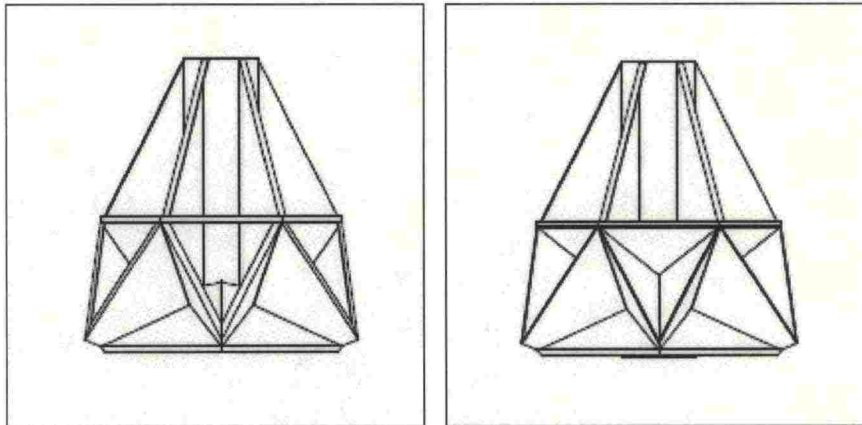
Projekti jaettiin kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa toteutettiin CAD-ohjelmalla 3D-mallit vertailtavista tutkaheijastinmalleista. Toisessa vaiheessa suoritettiin tutkanäkyvyyslaskennat malleille pitkin Pellingin 9m väylän keskilinjaa sekä reunamerkin ympärillä olevalta alueelta. Laskentasäteenä käytettiin 18 km. Laskennassa tuli ottaa huomioon tutkan sijainti, maapallon kaarevuus, ympäristössä esiintyvät katvealueet ja merenkäynnin tila.

Viimeisessä vaiheessa analysoitiin laskentatulokset ja raportoitiin tehdyt havainnot. Tehtävään kuului myös vertailutulosten havainnollinen esittäminen sekä tallentaminen helposti jatkokäsiteltävään muotoon.

Kohteen kuvaus

1.1 Tutkaheijastinmallit

Merenkulkulaitokselta saatujen kuvien ja mittojen avulla luotiin nykyisin käytössä olevasta ja muokatusta tutkaheijastinrakenteesta CAD-mallit dwg- ja stl-formaatissa. Ensiksi mainittua formaattia käytettiin CAD-ohjelmistossa ja jälkimmäistä tutkaheijastimen sirontakuvion laskemisessa CAST-ohjelmistolla. Kuvassa 1 vasemmalla on esitetty käytössä oleva tutkaheijastinmalli. Siinä kuusi tutkasoppea on asetettu yhteen kerrokseen kärjet ylöspäin. Soppien väliin jää tyhjää tilaa. Heijastavana tasona toimii tukirakenteen teräspinta. Kuvassa 1 oikealla on muokattu malli, jonka rakennetta on muutettu siten, että tutkaheijastinmalliin tulee vuoron perään kärki ylös- ja alaspäin asetettuja tutkasoppeja. Kärki alaspäin olevat sopet ovat kooltaan hiukan pienempiä kuin kärki ylöspäin olevat sopet turvamerkin muodosta johtuen.



Kuva 1. Käytössä oleva ja muokattu tutkaheijastinmalli.

Vertailtavien mallien sähkömagneettiset ominaisuudet on asetettu vastaamaan terästä kuten aikaisemmissa analysointihankkeissa. Tutkaheijastimien mitat ja ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

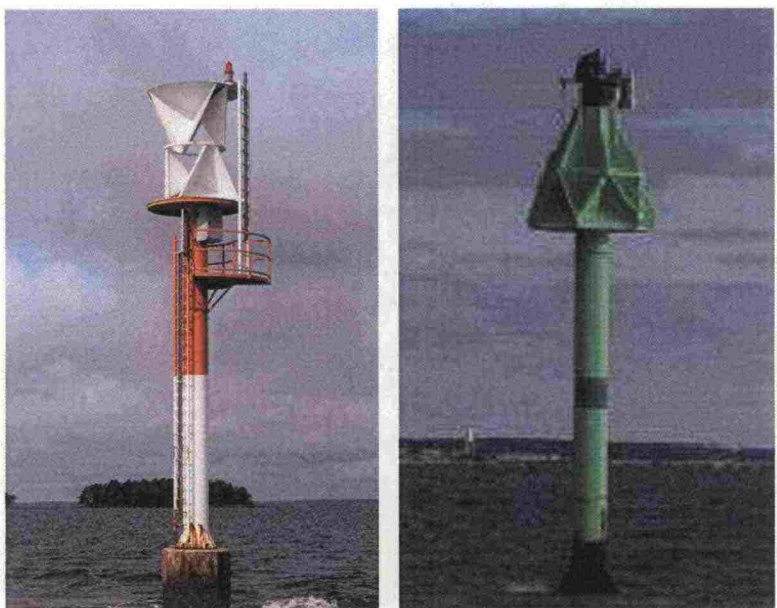
Taulukko 1. Vertailtavien tutkaheijastinmallien mitat ja ominaisuudet.

	Käytössä oleva	Muokattu
Korkeus	3078 mm	3078 mm
Ulkohalkaisija	3387,8 mm	3387,8 mm
Sisähalkaisija	800 mm	800 mm
Sopen korkeus	1293,4 mm	1293,4 ja (1197,6) mm
Materiaali	teräs	teräs

*) suluisissa oleva arvo on lisättyjen tutkasoppien korkeusarvo.

1.2 Vertailu ympäristö

Analyysiympäristönä käytettiin osaa Pellingin 9m väylästä. Alue on sama, jota on käytetty aikaisemmassa Poiju-2006 – Väylä - hankkeessa. Vertailukohteeksi valittiin Grevengrundin tutkamerkki (kuvassa 2 vasemmalla), joka korvattiin vertailulaskennoissa oikeanpuoleisella reunamerkillä (kuvassa 2 oikealla).



Kuva 2. Grevensgrundin tutkamerkki ja laskennassa sen korvaava oikea reunamerkki.

Kohteen todelliset sijainti- ja korkeustiedot on saatu Merenkulkulaitoksen WebMap-ohjelmiston turvalaitteiden perusselosteista. Tiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Laskentakohteen sijainti-, korkeus- ja suuntatiedot.

Laskentakohde	Koordinaatit (KKJ)		Suunta (aste)	Tiltaus (aste)	Korkeus (m)
	P	I			
Grevensgrund	6675572,9	3434377,7	6	0	11,7

Taulukossa 2 korkeusarvo määrittelee tutkamerkissä olevan tutkaheijastimen keskipisteen korkeuden vedenpinnasta. Tietoa tutkaheijastinten suuntaus- ja tiltauskulmista ei ollut saatavilla. Vertailuja varten tutkaheijastinmallien pääsuunnaksi asetettiin 6°, jotta heijastimen pääkeila osoittaisi väylän suuntaan. Suuntauskulma on määritelty siten, että arvo 0° osoittaa pohjoiseen ja suunta-arvot kasvavat myötäpäivään. Tiltauskulmaksi on määritelty 0°, koska kyseessä on kiinteä turvalaite, jonka asento ei muutu aaltojen tai jään vaikutuksesta.

Ympäristön aiheuttamien katvealueiden selvittämiseksi vertailussa käytettiin aikaisempaa projektia varten hankittua kartta-aineistoa. Maanmittauslaitokselta tilatun korkeus- ja rantaviiva-aineiston pohjalta luotiin tarkasteltavalta alueen 3D-ympäristömalli. Alueen koko on 46 km x 20 km. Alueen luoteiskulman koordinaatit KKJ-koordinaatistossa ovat (P = 6681102,1 ja I = 3416004,6) ja kaakkoiskulman (P = 6661102,1 ja I = 3461833,156). Tilattu kartta-aineisto sisälsi alueen rantaviivat ja maaston korkeuskäyrät 5 metrin korkeusresoluutiolla. Aineisto ei sisältänyt kaikkein pienimpiä ja matalimpia saaria, luotoja ja karikoita. Kuvassa 3 on esitetty kartta valitun alueen osasta.

Laskettava kohde on merkitty punaisella salmiakki-symbolilla. Kuvassa tummanvihreällä viivalla esitetään väylän keskilinja ja vaaleammalla värillä väylän käänkökohdat.



Kuva 3. Laskentakohteen sijainti ja väylän keskilinjan käänköpisteet.

Rajaukset

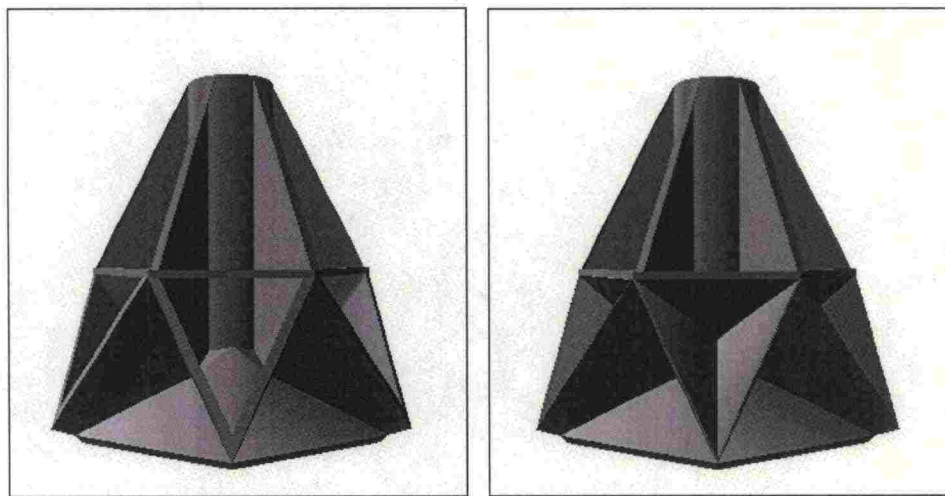
Laskentakohde on betonialustan päällä, joten se on käytännössä vedessä. Tästä syystä analyysissä käytetään pistesirottajamallia, joka huomioi vain tutkaheijastimesta syntyvän herätteen. Tutkamerkin tukimaston ja kiinnityspaikan tutkaherätetason oletetaan olevan merkityksetön verrattuna tutkaheijastimen herätetason. Osuessaan pyöreään mastoon tutka-aalto siroaa voimakkaasti kaikkiin suuntiin. Tällöin sirontataso takaisinpäin on suhteellisen pieni.

Tutkaherätteen laskennassa huomioidaan heijastus vedenpinnan kautta, mikäli heijastusreitti on esteetön. Laskennassa ei huomioida reitillä olevien saarten aiheuttamaa tutkaherätettä tai tutka-aallon sivuttaissuuntaista monitie-etenemistä. Mallinnuksessa ei myöskään huomioida kasvillisuuden tai puuston vaikutusta, koska tarvittavaa aineistoa ei ollut saatavilla projektin puitteissa. Merta mallinnetaan äärettömän paksuna materiaalina, jonka sähkömagneettiset ominaisuudet on asetettu vastaamaan merivettä. Analyysissä merenkäynnin tila on asetettu vastaamaan Pierson-Moskowitz-taulukossa esitettyä SeaState arvoa 2. Merkittävien aaltojen korkeus on 0,46 – 0,91 metriä ja keskimääräinen aallonkorkeus 0,27 m [6]. Tutkanäkyvyyden arvioinnissa ei huomioida Fresnelin vyöhykkeitä eikä sääolosuhteiden vaikutusta.

Laskentaparametrit ja -menetelmät

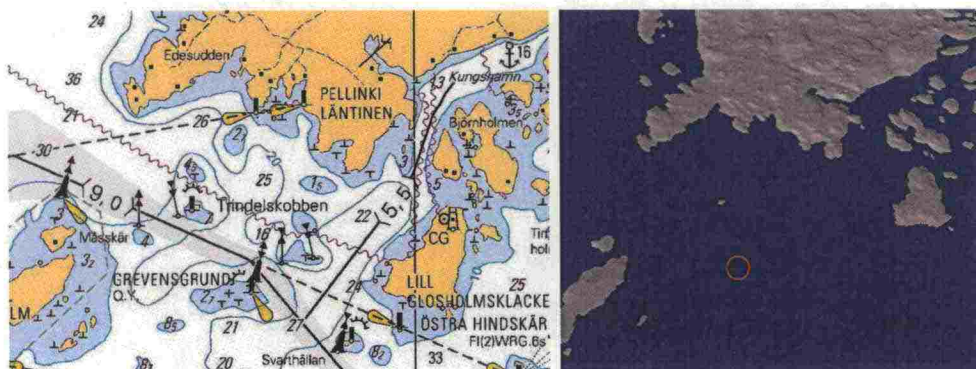
1.3 Laskentamallit

Vertailulaskentoja varten CAD-ohjelmalla luoduista tutkaheijastinmalleista generoitiin 3D-laskentamallit CAST-ohjelmistoa varten. Laskentamallit on esitetty kuvassa 4. Mallit eroavat toisistaan siten, että vasemmanpuoleisessa kuvassa (alkuperäinen malli) esiintyy ainoastaan kärki ylöspäin olevia tutkasoppeja, kun taas oikeanpuoleisessa kuvassa (muokatussa mallissa) esiintyy myös kärki alaspäin olevia tutkasoppeja. Mallien poikkipinta-alat ja sähkömagneettiset ominaisuudet ovat samat.



Kuva 4. Laskennassa käytetyt 3D-tutkaheijastinmallit.

Korkeus- ja rantaviiva-aineiston pohjalta generoitiin 3D-ympäristömalli Pellingin 9m väylältä. Tämä tietokonemalli koostuu 240 000 tasokolmioista. Kuvassa 5 on esitetty osa laskenta-alueesta ja tietokonemalli vastaavalta alueelta. Laskentakohteen sijainti on esitetty kuvassa punaisella ympyrällä.



Kuva 5. Kartta Pellingin väylältä rajatusta alueesta ja sitä vastaava 3D-malli.

1.4 Laskentaparametrit

Analyyssissä käytetyt laskentaparametrit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskentaparametrit.

Laskentaparametri	Arvo
	Reunamerkki (oikea)
Heijastimen alareunan korkeus vedenpinnasta	11,7 m
Laivatutkan korkeus	20 m
Laskentaresoluutio	50 m
Reitti pitkin keskiväylää / resoluutio	17 950 m / 50 m
Rasterin koko	36 km x 20 km
Laskentataajuus	9 GHz
Sirontamoodi	Monostaattinen
Polarisaatiot	HH
Heijastukset	5
Laskentamalli	Pistesirittäjä
Laskentadynamiikka RCS-rastereissa	50 .. -30 dBm ²
Heijastimen kääntökulma	6°

Tutkanäkyvyysrasterin laskennassa käytetyn alueen halkaisija on 36 km (säde on 18 km). Alue on määritelty siten, että laskettava kohde sijaitsee laskenta-alueesta muodostetun laskentarasterin keskipisteessä.

Tutkanäkyvyysreitti on määritelty pitkin Pellingin 9m väylän keskilinjaa, jonka kääntöpisteet on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Kääntöpisteiden koordinaatit.

Kääntöpiste	Sijainti	
	KKJ-koordinaatisto (P / I)	
Kääntöpiste 1	6677340	3428109
Kääntöpiste 2	6676160	3431193
Kääntöpiste 3	6676448	3432913
Kääntöpiste 4	6675768	3434385
Kääntöpiste 5	6674636	3435301
Kääntöpiste 6	6674456	3436257
Kääntöpiste 7	6676448	3437825
Kääntöpiste 8	6675628	3444137

Vertailua varten laskentapisteitä otetaan reitiltä 50 m välein. Reitin kokonaispituus on 17 950 m. Reitti on esitetty luvun 1.2 kuvassa 3.

1.5 Laskentamenetelmät

Laskentamenetelmissä huomioidaan maapallon kaarevuus, tutkaheijastimen sirontakuvio, monitie-eteneminen vedenpinnasta ja etenemisvaimennus. Tutkaherätearvot lasketaan normalisoituina tehosuhteina, jotta eri tutkien ominaisuudet, mm. lähetysteho ja vahvistukset, ovat myöhemmin huomioitavissa.

Maapallon ja radiohorisontin kaarevuus

Katvealueiden mallintamisessa otetaan huomioon maapallon kaarevuus efektiivisen maapallon säteen R_{eff} avulla:

$$R_{eff} = K \cdot R_e,$$

missä K on keskimääräisessä ilmakehässä pätevä radioaallon kaareutumista johtuva kerroin ja R_e on maapallon säde (~ 6370 km). Maapallon kaarevuus huomioidaan laskettaessa heijastuskohdan sijainti.

Normalisoitu tehosuhte

Vastaanotetulle teholle on voimassa yleinen tutkayhtälö

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4},$$

missä P_r on tutkan vastaanottama teho [W], P_t tutkan lähetysteho [W], G tutka-antennin vahvistus [yksikötön], σ kohteen tutkapoikkipinta [m^2], λ aallonpituus [m] ja R tarkasteluetaisyys [m]. Kun tutka-antennin vahvistus G on 1 ja lähetysteho P_t on 1, voidaan normalisoitu tehosuhte N esittää muodossa

$$N = \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot F \sigma \cdot \frac{1}{R^4}.$$

Tässä yhtälössä tutka-aallon etenemisvaimennus tulee huomioiduksi termillä $1/R^4$. Monitie-etenemisen vaikutus huomioidaan kertomalla tutkapoikkipinta-ala σ efektiivisellä kertoimella F (esitetään luvussa 0). Mikäli tutkan vahvistus G ja lähetysteho P_t tiedetään, saadaan vastaanotettu teho P_r laskettua kaavasta

$$P_r = P_t G^2 N.$$

Tutkaheijastimen tutkapoikkipinta-ala σ lasketaan VTT:llä kehitetyllä APO-menetelmällä (Antenna Theory applied to Physical Optics). Efektiivisen kertoimen F laskennassa käytetään kirjallisuudesta löytyvää pistesirontajamallia.

Tulosten vertailussa käytetään normalisoitua tehosuhdetta N , koska tutkan ominaisuudet eivät vaikuta vertailuun.

Pistesirottajamalli

Tutkaheijastin voidaan mallintaa yksittäisellä sirottajalähteellä. Sen efektiivinen kerroin voidaan laskea lähteissä [7][8] esitetyllä menetelmällä, pistesirottajamallilla. Bistaattisessa tapauksessa (lähetin ja vastaanotin eri paikoissa) laskentamalli voidaan esittää seuraavalla lausekkeella

$$F = (1 + \rho_t^2 + 2\rho_t \cos \Psi_t)(1 + \rho_r^2 + 2\rho_r \cos \Psi_r),$$

missä ρ_t on heijastuskerroin vedenpinnasta lähettimen ja kohteen välillä ja ψ_t sen vaihe, ρ_r on vedenpinnan heijastuskerroin vastaanottimen ja kohteen välillä ja ψ_r sen vaihe. Vaihearvot saadaan kaavalla

$$\Psi_{t,r} = \phi_{t,r} + \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \Delta R_{t,r},$$

missä ϕ on heijastuskertoimen vaihe ja ΔR on matkaero. Matkaerot määritellään seuraavasti:

$$\Delta R_{t,r} = \sqrt{(h_{t,r} + h)^2 + R_{t,r}^2} - \sqrt{(h_{t,r} - h)^2 + R_{t,r}^2},$$

missä $h_{t,r}$ on lähettimen/vastaanottimen korkeusero heijastimeen nähden, h heijastimen korkeus ja $R_{t,r}$ on lähettimen/vastaanottimen etäisyys heijastimeen xy-tasossa.

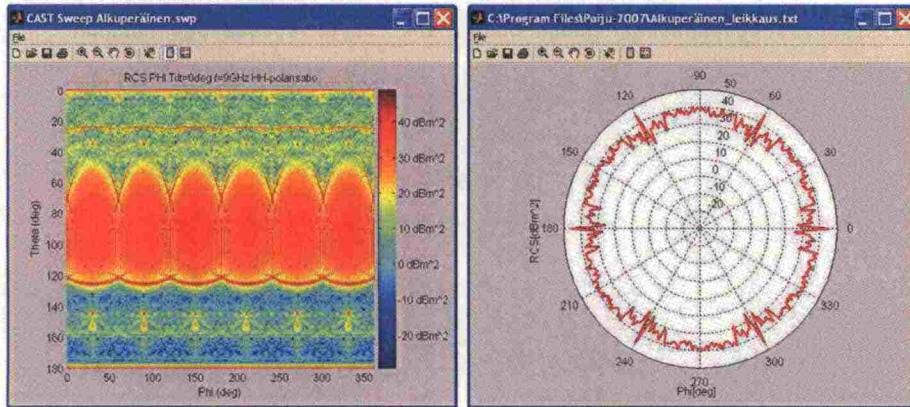
Tulokset

Laskentatulokset on esitetty Matlab- ja ArcGIS-ohjelmistolla. Punaisella värillä on esitetty alkuperäisen ja sinisellä muokatun mallin tulokset. Tutkanäkyvyysrastereiden esityksessä on käytetty ArcMap-komponenttia lukemalla samaan kuvaan tutkaheijastinkohtaiset tulosrasterit ja taustakartta. Tulosrasteri on asetettu osittain läpikuultavaksi, jotta myös taustakartta näkyisi. Vertailukohde on esitetty kuvissa punaisella salmiakki-symbolilla ja Pellingin väylän keskiviiva mustalla viivalla, jossa vihreillä ympyröillä on merkitty kääntökohdat. Jatkoprosessointia varten tulokset on tallennettu numeerisessa muodossa CD-levylle.

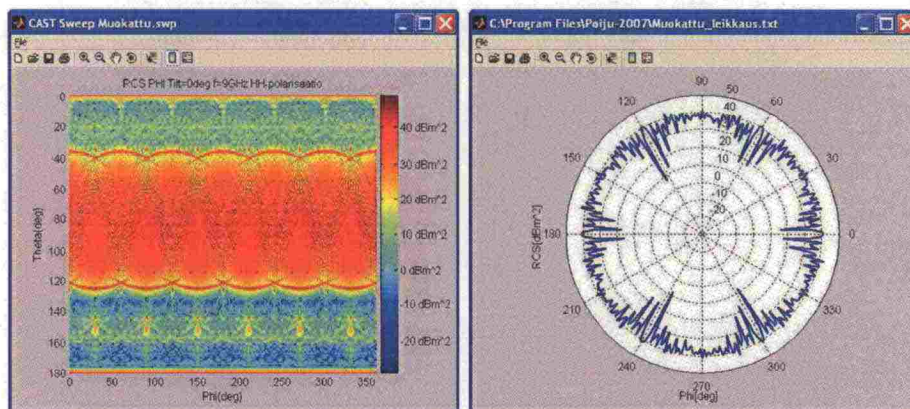
1.6 Tutkaheijastinmallit

Vertailukohteille laskettiin sirontakuviot 9 GHz:n taajuudella ja vaaka-polarisaatiolla (HH). Kuvassa 6 on esitetty alkuperäisen mallin sirontakuviot koko kulma-avaruuden yli ja vaakatasoleikkaus. Kuvassa 7 on esitetty muokatun mallin vastaavat sirontakuviot. Vasemmanpuolisissa kuvissa pystykulma-arvo (theta) on määritelty siten, että 0-arvo vastaa tarkastelua suoraan ylhäältä. Kulma-arvot

kasuvat siirryttäessä ylhäältä alaspäin aina 180° :een asti. Oikeanpuoleinen vaakatasoleikkaus vastaa yhtä riviä tutkanäkyvyysrasterissa theta-arvolla 90° .



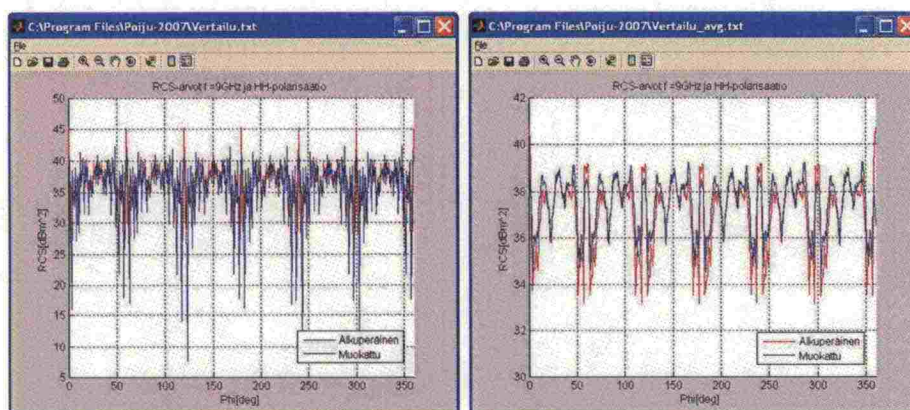
Kuva 6. Alkuperäisen mallin sirontakuviot HH-polarisaatiolla 9 GHz:n tapauksessa.



Kuva 7. Muokatun mallin sirontakuviot HH-polarisaatiolla 9 GHz:n tapauksessa.

Kuvasta 7 näkyvät muokattuun malliin lisättyjen kärki alaspäin olevien soppiheijastimien vaikutus erityisesti yläkulmilla (theta < 90° , rasterin kulmamäärittelyn mukaisesti). Lisätyt tutkasopet kasvattavat herätetasoa alkuperäisten soppien ympärille. Samalla rasteriin syntyy enemmän herätetasovaihteluja etenkin soppien pääkeilojen reunoilla. Tämä näkyy selvästi vaakaleikkauskuvista. Kärki ylöspäin olevien soppien vaikutus näkyy suunnissa 0, 60, 120, 180, 240 ja 300. Alkuperäisessä mallissa esiintyy kapea mutta voimakas piikki, joka mataloituu ja levenee muokatussa mallissa. Samalla lisättyjen soppiheijastinten sivukeilat aiheuttavat alkuperäisten soppiheijastimien pääkeilojen liuskoittumista reunoilta.

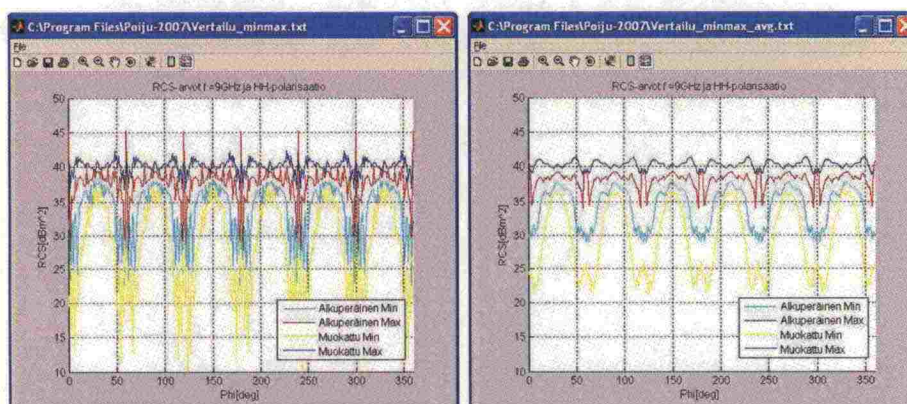
Kun sironta-arvoja tarkastellaan yksityiskohtaisemmin, havaitaan että muokattu heijastin tuottaa keskimäärin korkeampia sironta-arvoja etenkin pääkeilojen reunoille. Yksittäiset maksimi- ja minimikohdat saadaan poistettua keskiarvoistamalla tulokset. Kun arvot keskiarvoistetaan viiden pisteen yli, saadaan vallitsevat sirontaominaisuudet esiin.



Kuva 8. Sironta-arvoerot vaakaleikkauksen tapauksessa ilman keskiarvoistusta ja keskiarvoistuksen kanssa.

Keskiarvoistuksen tuloksena kuvan 8 vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyvät alkuperäisen mallin maksimipiikit sekä muokattun mallin sivukeilojen synnyttämät syvät minimikohdat häviävät. Keskiarvoistetusta kuvasta (oikeanpuoleinen) nähdään, että muokattu malli parantaa herätetasoa etenkin pääkeilojen reunoilla.

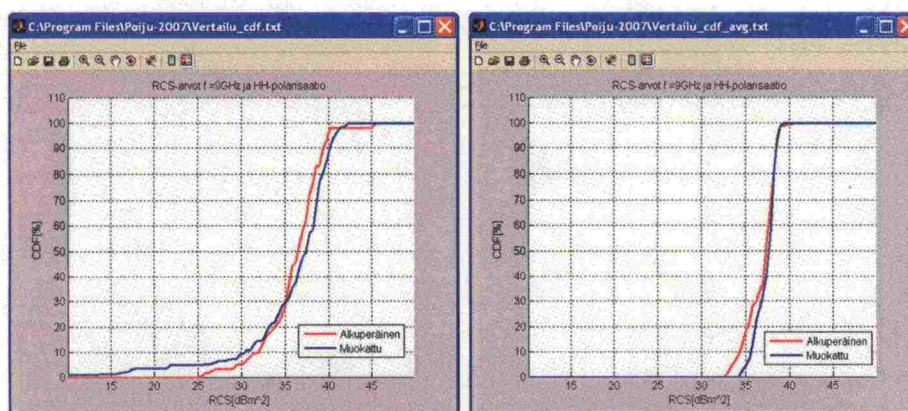
Seuraavaksi tuloksia on analysoitu laajemmalla kulma-alueella. Tarkasteluun on valittu minimi- ja maksimiarvot $\pm 5^\circ$ vaakatason ympäriltä. Kuvassa 9 tulokset esitetään ilman keskiarvoistusta ja keskiarvoistuksen kanssa.



Kuva 9. Ilman keskiarvoistusta ja keskiarvoistuksen kanssa minimi- ja maksimisironta-arvot.

Tuloksista havaitaan, että muokattu malli antaa sekä korkeimmat että matalimmat arvot. Kuvista näkyy myös selvästi, kuinka muokattu malli nostaa maksimiarvoilla herätearvoja pääkeilojen reunoilla.

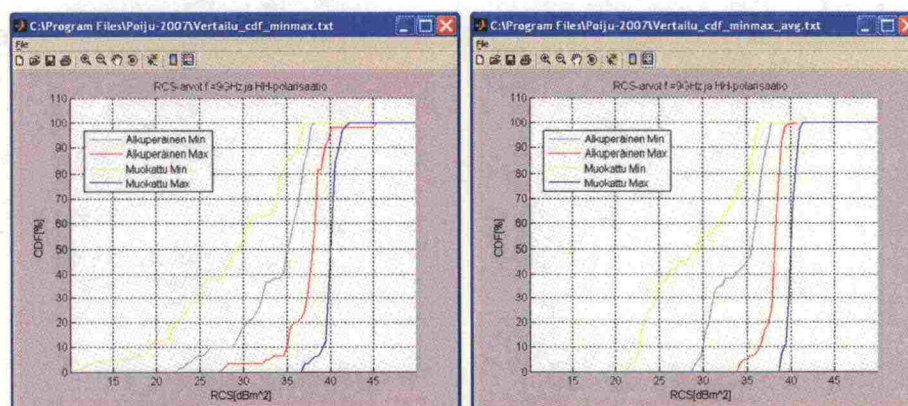
Mallien toimivuutta voidaan tarkastella tilastollisesti kertymäfunktioiden (cumulative distribution function, CDF) avulla. Kuvassa 10 vasemmanpuoleinen käyrä esittää vaakatasossa laskettuja herätearvoja ja oikeanpuoleinen viiden näytteen yli keskiarvoistettuja arvoja.



Kuva 10. CDF-käyrät ilman keskiarvoistusta ja keskiarvoituksen kanssa.

Kuvasta voidaan nähdä, että paranneltu malli toimii alkuperäistä mallia paremmin. Käyrältä voidaan lukea, että 70 % lasketuista arvoista on alkuperäisellä mallilla pienempiä kuin 38 dBm². Vastaava luku muokatulla mallilla on noin 59 %. 70 % -osuus täyttyy muokatulla mallilla arvolla 39 dBm².

Vaakatason sijasta on hyvä analysoida tuloksia myös laajemmalla kulma-alueella. Kuvassa 11 on esitetty minimi- ja maksimi-CDF käyrät $\pm 5^\circ$ vaakatason ympäriltä.



Kuva 11. Minimi- ja maksimi-CDF-käyrät ilman keskiarvoistusta ja keskiarvoituksen kanssa.

Kuvasta voidaan havaita, että muokatussa mallissa sironta-arvot vaihtelevat jonkin verran enemmän kuin alkuperäisessä mallissa. Maksimiarvojen suhteen muokattu malli on selvästi parempi.

1.7 Ympäristön vaikutus

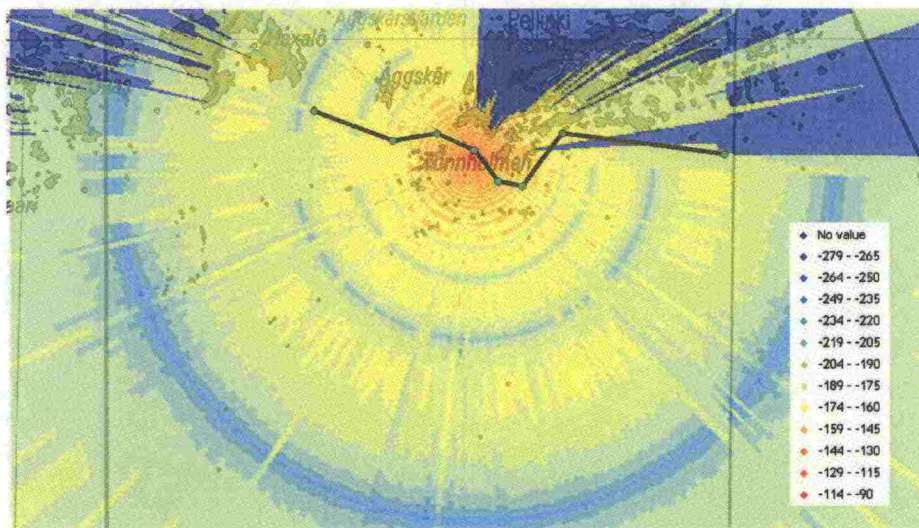
Tässä kappaleessa analysoidaan ympäristön vaikutusta vertailtavien mallien näkyvyyteen Pellingin 9m väylällä. Heijastimen pääkeila on asetettu väylän suuntaan. Kuvasta 12 havaitaan, että Glosholmenin ja Pellingin saaret aiheuttavat katvealueita itään ja koilliseen (tummanvihreä alue). Tämän lisäksi Tunholmenin saari aiheuttaa vedenpintaheijastuksen estymisen länteen (vaaleampi vihreä). Kuvasta

nähdään myös, että väylän keskilinja leikkaa katvealuetta. Näin ollen osassa väylää reunamerkin näkyvyys on estynyt.



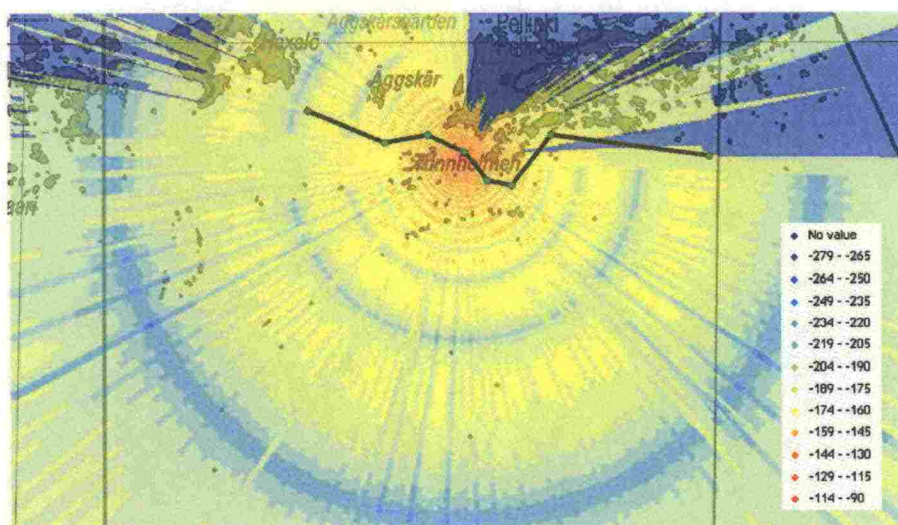
Kuva 12. Laskentakohteen näkyvyysrasteri.

Kuvassa 13 on esitetty alkuperäisen tutkaheijastinmallin normalisoitu tehorasteri. Tummansiniset alueet edustavat katvealueita, minne reunamerkki ei ole nähtävissä. Kuvassa vaaleansininen väri edustaa alueita, joissa tutkanäkyvyys on alhainen.



Kuva 13. Alkuperäisen heijastinmallin näkyvyysrasteri.

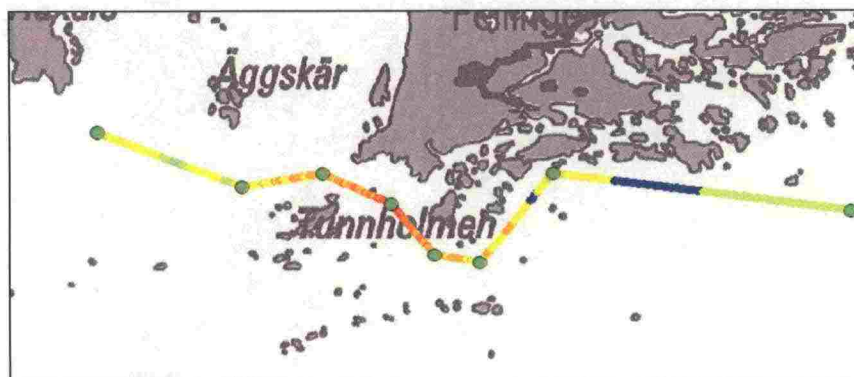
Kuvassa 14 on esitetty muokatun tutkaheijastinmallin normalisoitu tehosuherasteri. Vertailemalla kuvia keskenään havaitaan, että tutkaheijastin tuo parannusta alkuperäiseen, joskin merkittävästä erosta ei ole kysymys.. Syy tähän on se, että molempien mallien sirontakuviot ovat hyvin samanlaiset vaakatasossa ja sen lähiympäristössä.



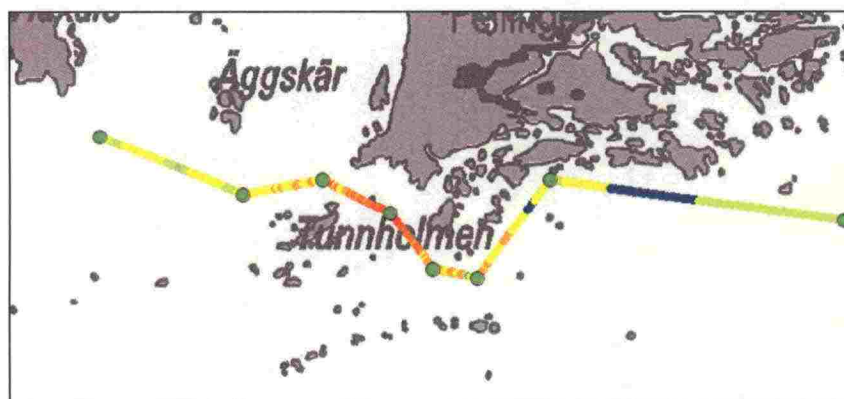
Kuva 14. Muokatun heijastinmallin näkyvyysrasteri.

Molemmissa tapauksissa tutkanäkyvyysrasteriin syntyy rengasmaisia minimikohtia. Ne johtuvat tutka-aallon etenemästä matkasta ja on mahdollista poistaa lisäämällä toinen samanlainen tutkaheijastin turvalaitteeseen riittävän kauaksi alkuperäisen heijastimen ylä- tai alapuolelle.

Kuvissa 15 ja 16 on esitetty normalisoidut tehosuhteet pitkin väylän keskilinjaa 50 m laskentaresoluutiolla.

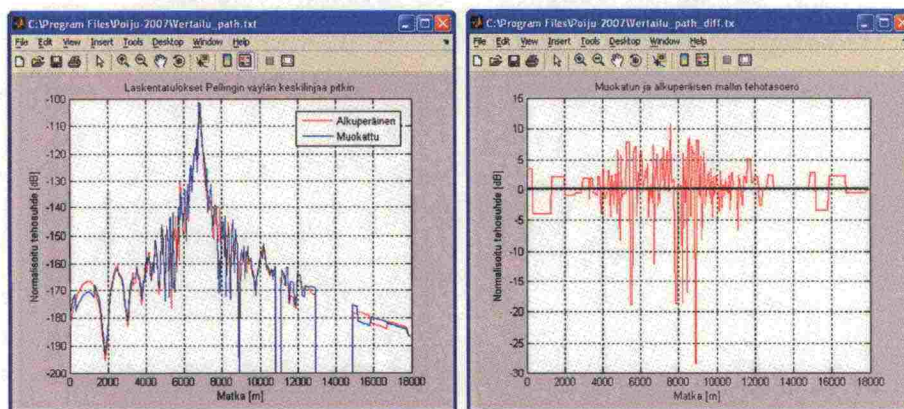


Kuva 15. Alkuperäisen mallin tutkanäkyvyys pitkin Pellingin väylän keskilinjaa.



Kuva 16. Muokatun mallin tutkanäkyvyys pitkin Pellingin väylän keskilinjaa.

Kuvasta nähdään, että heijastinmalleilla on jonkin verran eroja. Erot saadaan esille vain esittämällä ne samassa graafissa. Kuvassa punainen viiva esittää alkuperäistä ja sininen viiva muokattua mallia.



Kuva 17. Alkuperäisen ja muokatun tutkaheijastinmallin normalisoidut tehosihteet pitkin Pellingin väylän keskilinjaa sekä tehosihte-erot.

Muokatun mallin arvot ovat hiukan alkuperäistä parempia. Tämä näkyy selvemmin oikeanpuoleisesta kuvasta, jossa on esitetty erot muokatun ja alkuperäisen mallin normalisoitujen tehosihteiden välillä. Positiivinen arvo tarkoittaa, että muokattu malli toimii paremmin. Kuvassa esiintyvät suuret negatiiviset arvot johtuvat muokatun mallin synnyttämistä minimipiikeistä. 58 % arvoista on positiivia ja negatiivisia 42 %. Ero ei ole merkittävä.

Johtopäätökset

Laskentatulokset osoittavat, että tehdyllä muutoksella saadaan jonkin verran hyötyä reunamerkin näkyvyyteen. Sirontakuviosta havaitaan, että parannusta syntyy pääasiassa suuntiin, jotka ovat merkityksellisiä, kun valaiseva tutka heijastimen yläkatsontakulmassa. Tulokset osoittavat, että lisätyt tutkasopet kasvattavat sirontatasoa myös pääkeilojen reunoilla. Samalla sirontakuvion liuskoittuminen lisääntyy. Laskentatuloksista havaitaan, että molemmilla ratkaisuilla esiintyy etäisyydestä johtuvia minimikohtarenkaita samoissa paikoissa.

Nämä minimikohdat voidaan eliminoida asentamalla kaksi tutkaheijastinta turvalaitteeseen siten, että ne ovat riittävän etäällä toisistaan, jottei monikerroksiselle tutkaheijastinmallille ominaista sirontakuvion liuskoittumista tapahdu.

Kaikkia mahdollisia häiriötekijöitä ei laskennassa ole huomioitu eikä ole tarpeenkaan. Tässä vertailussa muiden tekijöiden (kasvillisuus tai sääolosuhteet) vaikutuksen oletetaan olevan sama molemmille tutkaheijastinmalleille.

Lopullinen vertailu olisi syytä tehdä joko mittauksin tai käytännön kokein. Laskentatulokset auttavat kuitenkin ymmärtämään, miten tehdyt muutokset teoriassa vaikuttavat heijastimen sirontakuviin ja siten sen tutkanäkyvyyteen.

Lähdeviitteet

- [1] Hujanen, A., Tuomimäki, L., Backman, W., Hautio, J., Toivanen, H. ja Horsmanheimo, S., Sähkömagneettisten sirontakenttien laskenta turvalaitteille, VTT, 7.12.2006, 39 s.
- [2] Hujanen, A., Backman, W., Tuomimäki, L., Toivanen, H., Horsmanheimo, S., Tutkaheijastimien analysointi, Tutkimusraportti Merenkulkulaitokselle, VTT Tietotekniikka, 3.9.2004, 39 s.
- [3] Hujanen, A., Backman, W., Tuomimäki, L., Toivanen, H., Horsmanheimo, S., Tutkaheijastinprototyypin laskenta, Tutkimusraportti Merenkulkulaitokselle, VTT Tietotekniikka, 20.4.2005, 61 s.
- [4] Hujanen, A., Backman, W., Tuomimäki, L., Hagberg, V-M, Toivanen, H. ja Horsmanheimo, S., Tutkaheijastimen laskenta: Itätoukki ja Länsitoukki, VTT, 28.4.2006, 27 s.
- [5] <http://www.vtt.fi/cast>
- [6] Sea State Definition Table (Pierson - Moskowitz Sea Spectrum), <http://www.oceandata.com/support/Sea%20State%20Table.htm>
- [7] Knott E. F., Shaeffer J. F., Tuley M. T., Radar Cross Section, 2. painos, Artech House, 1993.
- [8] Long M. W., Radar Reflectivity of Land and Sea, 3. painos, Artech House, 2001.